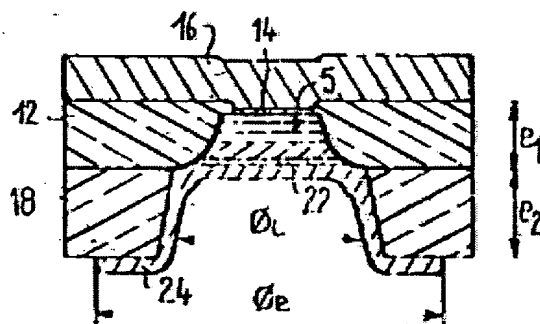


Method of collective manufacture of microwave frequency diodes with incorporated encapsulation and diodes thus obtained.

Patent number: FR2538616
Publication date: 1984-06-29
Inventor: HENRY RAYMOND; BOUDOT MARIANNE; CARRIERE CLAUDE; HEITZMANN MICHEL
Applicant: THOMSON CSF (FR)
Classification:
- **international:** H01L21/78; H01L29/86
- **european:** H01L23/051, H01L21/329B, H01L21/78, H01L23/31P, H01L23/31P6
Application number: FR19820021873 19821228
Priority number(s): FR19820021873 19821228

Abstract of FR2538616

The invention relates to microwave frequency diodes and to their method of manufacture. The subject of the invention is a diode manufactured by a collective method in which the junction is inserted into two superimposed slices of dielectric 12 and 18 serving as encapsulation, avoiding the use of a package. Application in particular to avalanche diodes operating in the 94 GHz band.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication : **2 538 616**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **82 21873**

(51) Int Cl³ : H 01 L 21/78, 29/86.

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 28 décembre 1982.

(30) Priorité

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 26 du 29 juin 1984.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CSF. — FR.

(72) Inventeur(s) : Marianne Boudot, Raymond Henry, Michel
Heitzmann et Claude Carrière.

(73) Titulaire(s) :

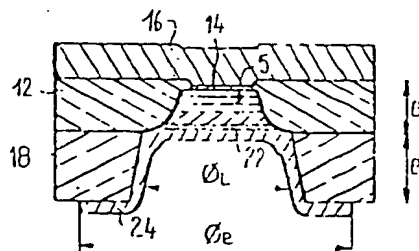
(74) Mandataire(s) : Philippe Guilguet.

(54) Procédé de fabrication collective de diodes hyperfréquence avec encapsulation incorporée et diodes ainsi obtenues.

(57) L'invention se rapporte aux diodes hyperfréquences et à
leur procédé de fabrication.

L'invention a pour objet une diode fabriquée par un procédé
collectif dans laquelle la jonction est insérée dans deux tran-
ches superposées de diélectrique 12 et 18 servant d'encapsu-
lation qui évite l'usage d'un boîtier.

Application notamment aux diodes à avalanche travaillant
dans la bande 94 GHz.



FR 2 538 616 - A1

PROCEDE DE FABRICATION COLLECTIVE DE DIODES HYPERFREQUENCES
AVEC ENCAPSULATION INCORPOREE ET
DIODES AINSI OBTENUES

La présente invention se rapporte d'une manière générale aux diodes hyperfréquences travaillant notamment dans la bande 94 GHz et concerne plus particulièrement un procédé de fabrication collective de telles diodes destinées à se présenter sous forme d'éléments possédant une encapsulation incorporée, donc ne nécessitant pas de boîtiers, et utilisées dans des modules pour ondes millimétriques en réalisant une transformation radiale d'impédance.

D'une façon générale, lorsque la fréquence d'utilisation de diodes hyperfréquences de type Gunn, Schottky, et surtout à avalanche, utilisées comme oscillatrice à l'émission ou mélangeuse à la réception d'ondes millimétriques, croît au-dessus de 30 GHz, la capacité et l'inductance propres des boîtiers classiques utilisés deviennent de plus en plus gênantes. On cherche donc à améliorer le boîtier, notamment pour des fréquences supérieures à 50 GHz. Cependant, les différentes solutions proposées ne donnent pas entièrement satisfaction. En effet, parmi l'art connu, on peut relever des réalisations qui présentent l'avantage mais aussi l'inconvénient d'être pratiquement préaccordées sur une fréquence et ne sont donc pas optimisées lorsqu'on désire disposer d'une assez large bande d'accord en fréquence.

D'autres solutions connues conduisent à un prix de revient élevé ou ne se prêtent pas à une fabrication de série. En effet, alors que la diode élémentaire peut résulter d'une découpe collective dans une rondelle, l'adjonction très délicate d'une bonne encapsulation réalisée, comme cela est connu, à l'aide d'un anneau de diélectrique, tel que par exemple le quartz, entourant la diode, est un processus unitaire.

Pour remédier à ces problèmes, on connaît déjà un procédé permettant de réaliser de façon collective des diodes hyperfréquences, de type Gunn, à avalanche ou Schottky, avec une encapsulation incorporée, donc sans nécessiter de boîtiers, comme
5 cela est décrit dans la demande de brevet français n° 82 01651 déposée au nom de la Demanderesse le 2 février 1982, concernant : "Procédé collectif de fabrication de diodes hyperfréquences avec encapsulation incorporée et diodes obtenues par ce procédé". Selon cette demande de brevet, le procédé comporte les principales
10 étapes suivantes :

- une croissance par épitaxie à partir d'un substrat semi-conducteur d'un ensemble de couches destinées à fournir la structure de chaque diode ;
- une attaque méso de l'ensemble des couches de façon à
15 former des cuvettes annulaires délimitant les diodes, la profondeur maximale de chaque cuvette étant de l'ordre de 30 microns ;
- un remplissage de chaque cuvette par un matériau diélectrique, tel que du verre fondu, sur une hauteur de l'ordre de 20 microns ;
- 20 - une attaque du substrat par sa face opposée à l'ensemble des couches de façon à former des cuvettes centrales dont les parois latérales de chacune sont délimitées par le diélectrique ;
- un recouvrement métallique des deux faces de la structure complexe obtenue à l'étape précédente ; et
- 25 - une séparation des diodes par découpe effectuée en dehors de chaque cuvette centrale.

Toutefois, un tel procédé collectif présente des inconvénients. En effet, on sait que la hauteur de diélectrique entourant chaque diode conditionne la puissance de sortie délivrée par la diode : ainsi,
30 une hauteur de l'ordre de 120 microns de diélectrique permet d'obtenir toute la puissance de sortie souhaitée. Or, selon ce procédé antérieur, la hauteur ou épaisseur de verre déposé dans chaque cuvette annulaire n'est que de l'ordre de 20 microns, donc nettement insuffisante pour obtenir toute la puissance de sortie que l'on

souhaiterait. En outre, même dans le cas où il serait possible de déposer du verre sur une hauteur de l'ordre de 120 microns dans une cuvette de profondeur appropriée, un tel procédé collectif deviendrait peu industriel : en effet, un tel dépôt de verre sur une hauteur
5 donnée se fait habituellement par une technique de photospin en réalisant des dépôts successifs de l'ordre de 5 microns chacun, chaque dépôt demandant plusieurs heures de réalisation, de sorte que pour une hauteur de 120 microns, il serait nécessaire d'effectuer vingt-quatre dépôts successifs de verre, ce qui serait excessivement
10 long à réaliser et partant coûteux, augmentant donc notablement le prix de revient de la diode ainsi obtenue. De plus, un tel grand nombre de dépôts successifs de verre provoquerait d'importantes contraintes mécaniques dans le verre, ce dernier risquant donc de se fissurer.

15 La présente invention a pour but de remédier à ces inconvénients en proposant un procédé permettant de fabriquer de façon collective des diodes hyperfréquences avec encapsulation incorporée, notamment dans la bande 94 GHz, qui est simple à réaliser et permet d'obtenir une bonne encapsulation à l'aide d'un diélectrique
20 déposé à la fois rapidement et sur une hauteur désirée telle que toute la puissance de sortie que l'on souhaite soit délivrée par chaque diode obtenue, cette dernière remplissant en outre la condition de prix de revient réduit. De plus, l'accessibilité aux dimensions géométriques de chaque diode fabriquée et en particulier au diélectrique entourant la diode permet d'assurer une bonne transformation
25 radiale d'impédance dans le cas de modules pour ondes millimétriques.

A cet effet, selon un mode de réalisation préféré, l'invention a pour objet un procédé de fabrication collective de diodes hyperfréquences avec encapsulation incorporée, chaque diode comportant
30 une pastille semiconductrice multicouche disposée entre deux connexions, le procédé comportant les étapes suivantes :

- une croissance par épitaxie à partir d'un substrat semi-

conducteur d'un ensemble de couches destinées à fournir la structure de la pastille de chaque diode ;

- une attaque de l'ensemble des couches de façon à former des berceaux délimitant les pastilles, chaque berceau étant de profondeur supérieure à celle de l'ensemble des couches ;

- un remplissage de chaque berceau par un premier matériau diélectrique ; caractérisé en ce que le procédé comprend en outre les étapes suivantes :

- un premier recouvrement métallique de la face supérieure de la structure complexe obtenue à l'étape précédente, formant ainsi l'une des connexions pour chaque diode ;

- une attaque du substrat par sa face opposée à l'ensemble des couches de façon à le laisser subsister sur une épaisseur telle que le fond de chaque berceau se trouve dégagé ;

- un dépôt d'un second matériau diélectrique localisé sur le fond une fois dégagé de chaque berceau de façon à former des cuvettes centrales ayant chacune pour fond le substrat subsistant de chaque diode et dont le rebord et les parois latérales sont délimités par le second diélectrique ;

- un second recouvrement métallique de la face inférieure de la structure complexe obtenue à l'étape précédente, formant ainsi l'autre connexion pour chaque diode ; et

- une séparation des diodes par découpe effectuée au milieu de chaque berceau rempli, permettant ainsi d'obtenir collectivement les diodes avec encapsulation incorporée.

L'invention a également pour objet une diode hyperfréquence avec encapsulation incorporée, constituée par une pastille semi-conductrice montée dans un support ayant une première et une seconde faces métallisées respectivement en contact avec la face supérieure et la face inférieure de la pastille, le support comprenant un anneau de diélectrique entourant la pastille, caractérisée en ce que l'anneau de diélectrique est réalisé en une première et une seconde tranches superposées de matériau diélectrique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux dans la description détaillée qui suit et se réfère aux dessins annexés, donnés uniquement à titre d'exemple et dans lesquels :

- 5 - les figures 1a, 1b, 2 à 8 représentent les différentes étapes du procédé de fabrication collective de diodes hyperfréquences selon un mode de réalisation de l'invention, la figure 1b étant une variante de la structure semiconductrice de la figure 1a ;
- la figure 9 représente une diode obtenue par ce mode de
- 10 réalisation du procédé selon l'invention ;
- les figures 10 à 14 représentent certaines étapes du procédé selon une variante ; et
- la figure 15 représente une diode obtenue par cette variante du procédé selon l'invention.

15 Sur ces différentes figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

A titre d'exemple non limitatif, on va décrire l'élaboration de diodes à avalanche au silicium à 94 GHz par le procédé de fabrication collective selon l'invention. Ce type de diode peut en

20 particulier être employé dans des modules pour ondes millimétriques du fait de la grande accessibilité de leurs composantes géométriques.

La première étape du procédé de fabrication collective des diodes à avalanche, conforme à l'invention, consiste à réaliser la

25 jonction en faisant croître par épitaxie sur un substrat de silicium monocristallin une succession de couches de types de conductivité différents qui formeront la structure semiconductrice de chaque diode.

Ainsi, selon un premier mode de réalisation représenté sur la

30 figure 1a, on part d'un substrat 1 dopé N^+ se présentant sous forme d'une rondelle de diamètre de l'ordre de 30 millimètres, d'épaisseur d'environ 250 microns, et possédant une très basse résistivité, de l'ordre de $0,0015 \Omega \cdot \text{cm}$, pour ne pas introduire de pertes à la fréquence d'utilisation (94 GHz dans l'exemple choisi) des diodes. Sur

le substrat 1, viennent ensuite une couche 2 de type N (épaisseur 0,35 micron, dopage $2 \cdot 10^{17}$ atomes/cm³), une couche 3 de type P (épaisseur 0,35 micron, dopage $2 \cdot 10^{17}$ atomes/cm³), et une couche 4 de type P⁺ (épaisseur 0,30 micron, dopage $5 \cdot 10^{19}$ atomes/cm³). Il s'agit donc d'une diode à avalanche à double zone de glissement.

Dans un souci de simplification, on repérera l'ensemble des couches épitaxiées par un repère unique 5.

Selon une variante représentée sur la figure 1b, une couche d'arrêt 6 peut être déposée entre le substrat 1 considérablement aminci et une couche épaisse 7 en silicium polycristallin. Pour réaliser une diode à avalanche, on part d'un substrat semi-conducteur 1 dopé N⁺ en forme de rondelle d'environ 100 microns d'épaisseur sur lequel on dépose la couche d'arrêt 6. Cette couche d'arrêt peut être réalisée en oxyde de silicium SiO₂, en nitrure de silicium Si₃N₄ ou par un mélange de ces deux produits. On dépose ensuite dans un réacteur classique sur la couche d'arrêt 6 la couche 7 en silicium polycristallin sur une épaisseur de l'ordre de 100 à 150 microns. Cette couche 7 sert donc de support mécanique pour amincir la couche 1 dopée N⁺ à une épaisseur d'environ 10 microns par un procédé connu (mécanique, chimique ou mécano-chimique). Puis on développe par épitaxie sur la couche 1 résiduelle la couche 2 de type N, la couche 3 de type P et la couche 4 de type P⁺. Les concentrations en impuretés et les épaisseurs des couches 2 à 4 sont identiques à celles des couches de la diode à avalanche décrite en référence à la figure 1a. L'avantage de cette variante réside dans le fait qu'une attaque chimique réalisée ultérieurement sur la face arrière, c'est-à-dire une attaque du substrat 7 en direction de la couche 1, s'arrêtera sur la couche d'arrêt 6. Cette couche d'arrêt 6 devra être éliminée partiellement pour assurer le contact avec la couche 1. Ceci se fera par attaque chimique sélective ou plutôt par usinage ionique qui assurera un meilleur contrôle de l'attaque.

On va maintenant décrire, après cette croissance par épitaxie, les étapes suivantes du procédé selon l'invention en relation avec la

structure semiconductrice telle que représentée sur la figure 1a. Bien entendu, le procédé s'applique également à une structure semiconductrice telle que représentée sur la figure 1b, c'est-à-dire avec une couche d'arrêt interposée entre le substrat considérablement aminci et la couche support, sans sortir du cadre de l'invention.

La seconde étape du procédé, représentée sur la figure 2, consiste à effectuer une attaque chimique ou plasma de type méso progressant à partir des couches épitaxiées jusque dans le substrat 1, afin de créer des sillons formant des berceaux 8, par exemple annulaires, qui délimitent les futures diodes. Les jonctions se présenteront donc sous la forme de pastilles. Le profil de chaque berceau est réalisé avec un masque en provoquant l'attaque de la rondelle jusqu'à atteindre la profondeur désirée choisie supérieure à l'épaisseur totale des couches épitaxiées. Comme il apparaît sur la figure 2, le fond des berceaux 8 présente une parfaite planéité. A titre d'exemple, pour une fréquence de fonctionnement égale à 94 GHz, le diamètre de chaque jonction est de l'ordre de 25 microns, l'épaisseur totale des couches épitaxiées est de l'ordre de 1 micron, la profondeur de chaque berceau est de l'ordre de 15 à 20 microns, et le pas des futures diodes est de l'ordre de 1 mm.

L'étape suivante, représentée sur la figure 3, consiste tout d'abord à recouvrir de préférence les parois des berceaux 8 d'une mince pellicule d'arrêt 10 qui est composée d'un matériau résistant à l'agent chimique qui sera employé ultérieurement au cours d'une phase d'attaque. Par exemple, on peut utiliser du nitrure de silicium Si_3N_4 ou de la silice SiO_2 qui résiste à un agent chimique d'attaque du silicium tel qu'un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique. Ensuite, comme représenté sur cette même figure 3, les berceaux sont remplis par un matériau diélectrique 12 dont la nature est telle que ce diélectrique puisse résister aux températures élevées que l'on rencontre dans les diodes à avalanche (jusqu'à 300°C). Ainsi, le matériau diélectrique 12 utilisé est par exemple du verre fondu ou un matériau polymérisable, tel que par exemple du

polyimide avantageusement chargé de poudre de quartz de façon à obtenir moins de pertes. La poudre de quartz peut être remplacée par une substance à très faible perte à constante diélectrique plus élevée, telle que par exemple certains oxydes de terres-rare. On notera que le verre fondu comme le polyimide ont d'assez bonnes propriétés diélectriques aux fréquences considérées ainsi que de bonnes propriétés mécaniques.

Comme il apparaît sur la figure 3, la quantité de diélectrique 12 est dosée de façon que sa surface soit par exemple plane et vienne recouvrir très partiellement mais le moins possible la face supérieure de chaque pastille 5. A titre illustratif, l'épaisseur totale de diélectrique 12 déposé est de l'ordre de 15 à 20 microns, ce qui ne nécessite donc que trois ou quatre dépôts successifs de 5 microns chacun.

Selon un mode de réalisation préféré, l'étape suivante du procédé, représentée sur la figure 4, consiste à métalliser l'une des faces d'accès de chaque jonction, c'est-à-dire la face avant définie comme étant la face supérieure de la pastille 5, afin de réaliser l'une des deux connexions pour chaque future diode. Cette métallisation consiste tout d'abord à déposer une couche 14 de platine localisée par un procédé photolithographique au niveau de la face avant de chaque jonction, puis à effectuer un recuit formant ainsi du siliciure de platine destiné à constituer un contact ohmique. Dans le cas où du verre est utilisé comme diélectrique, le recuit est effectué à une température d'environ 400°C, tandis que dans le cas du polyimide, le recuit est effectué avec un faisceau laser localisé au niveau des jonctions.

On notera que le dépôt localisé de platine peut être remplacé par un dépôt continu de platine recouvrant les faces avant des jonctions et les berceaux remplis de diélectrique, ce qui est plus simple à réaliser, sans sortir du cadre de l'invention.

Cette métallisation est ensuite complétée par des dépôts successifs de titane (par exemple 1000 Å), de platine (par exemple 1500 Å) et d'or (par exemple 5000 Å). De plus, sur cette couche d'or,

on dépose une couche d'or galvanique, d'épaisseur de l'ordre de 50 microns, destinée à constituer un dissipateur ou radiateur thermique. On a représenté par la couche continue 16 sur la figure 4 l'ensemble des dépôts titane-platine-or et recharge d'or galvanique.

5 La présence de la couche d'or galvanique se justifie de la façon suivante. Lors de l'utilisation en régime continu ou en régime pulsé d'une telle diode à avalanche, la partie de la jonction qui s'échauffe le plus est la partie supérieure, si l'on considère la figure 4, c'est-à-dire celle qui est proche des couches de métallisation 14 et 16. Il se pose alors le problème de l'évacuation de la chaleur dégagée par la
10 jonction en fonctionnement. A cet effet, comme on soude généralement les diodes à avalanche par soudure inversée, c'est-à-dire sur la métallisation 16, on prévoit pour ce contact (Ti-Pt-Au) une croissance électrolytique d'or qui sert d'amortisseur thermique et
15 mécanique entre la brasure et la diode.

L'étape suivante, représentée sur la figure 5, réside en une attaque, par exemple chimique, du substrat 1 par sa face arrière, c'est-à-dire la face opposée à l'ensemble des couches épitaxiées 5, de façon à laisser subsister ledit substrat sur une épaisseur E_1 telle
20 que le fond de chaque berceau se trouve dégagé. On laisse ainsi subsister un minimum de substrat 1, ce qui permet de réduire sa résistance parasite. A titre illustratif, l'épaisseur E_1 du substrat subsistant est de l'ordre de 5 à 10 microns, permettant ainsi de minimiser les pertes aux fréquences d'utilisation.

25 On notera que lors de l'attaque chimique la couche d'arrêt 10 a évité l'attaque possible du diélectrique par l'agent chimique. De plus, cette attaque chimique peut être remplacée par une attaque plasma encore appelée attaque par voie sèche, sans sortir du cadre de l'invention.

30 L'étape suivante, représentée sur la figure 6, consiste à déposer sur le fond une fois dégagé de chaque berceau un second matériau diélectrique 18, tel que par exemple du polyimide éventuellement chargé de poudre de quartz. Ce diélectrique 18 a une épaisseur totale de l'ordre de 100 microns, et est constitué par

exemple de dix couches sérigraphiées de 10 microns chacune. Pour obtenir le profil particulier de ce diélectrique 18 tel que représenté sur la figure 6, on procède par un photomasquage suivi d'une attaque chimique localisée de façon à former des cuvettes centrales 20
5 ayant chacune pour fond le substrat 1 et dont le rebord et les parois latérales sont délimités par le diélectrique 18. On obtient ainsi pour chaque future diode une hauteur totale voulue de diélectrique, de l'ordre de 120 microns, et une jonction limitée à sa partie active et insérée dans un support aux dimensions contrôlées.

10 L'étape suivante, représentée sur la figure 7, consiste à métalliser l'autre face d'accès de chaque jonction, c'est-à-dire la face arrière définie comme étant la face inférieure de la pastille semiconductrice, afin de réaliser la seconde connexion pour chaque future diode. Comme dans le cas de la première métallisation
15 représentée sur la figure 4, cette seconde métallisation consiste tout d'abord à déposer une couche 22 de platine soit localisée par un procédé photolithographique au niveau de la face arrière de chaque jonction, soit continue recouvrant les faces arrière des jonctions et les diélectriques 18, puis à former du siliciure de platine par un
20 recuit à une température d'environ 400°C pour un diélectrique 12 constitué par du verre, ou par un recuit laser localisé pour du polyimide.

Cette seconde métallisation est ensuite complétée par des dépôts successifs de titane, de platine et d'or éventuellement enrichi
25 d'or galvanique destiné à la fixation d'une électrode de polarisation.

On a représenté par la couche 24 sur la figure 7 l'ensemble des dépôts titane-platine-or. De plus, comme il apparaît sur cette figure 7, la métallisation 24 est réalisée de telle sorte qu'elle épouse le contour de chaque cuvette centrale et recouvre le second
30 diélectrique 18, de sorte que cette métallisation continue 24 se présente en coupe sous la forme d'une métallisation à méandres.

A ce stade, une variante du procédé selon l'invention consiste à déposer le platine (couche 22 sur la figure 7) et à former le siliciure de platine sur le substrat 1 une fois son attaque réalisée

comme représenté sur la figure 5. On procède ensuite au dépôt du second diélectrique 18 comme expliqué en référence à la figure 6, et on procède à la seconde métallisation 24 telle qu'expliquée à propos de la figure 7.

5 Une fois la seconde métallisation 24 réalisée, l'étape suivante, représentée sur la figure 8, consiste tout d'abord à localiser par un photomasquage la métallisation 24 pour chaque future diode suivant un disque concentrique avec la pastille de la diode correspondante. Ainsi, la métallisation 24 est circulaire et présente des diamètres
10 intérieur et extérieur pouvant être contrôlés.

On procède ensuite à la séparation des différentes diodes par découpe effectuée par exemple à l'aide d'une scie diamantée, au milieu de chaque berceau rempli de diélectrique 12, comme représenté par les traits mixtes AA sur la figure 8. On notera que les
15 découpes mécaniques des diodes peuvent être carrées, rectangulaires ou hexagonales, mais aussi circulaires après reprise d'une découpe de préférence hexagonale. En outre, pour des découpes circulaires, celles-ci peuvent être également réalisées de façon chimique ou au laser.

20 La figure 9 représente l'une des diodes à avalanche obtenues par le procédé de fabrication collective décrit ci-dessus. Cette diode avec une encapsulation incorporée, donc sans boîtier, est incluse dans un support ayant une première face métallisée 16 servant de dissipateur thermique et une seconde face métallisée
25 circulaire 24, de diamètre intérieur Φ_i de l'ordre de 200 à 300 microns et de diamètre extérieur Φ_e de l'ordre de 700 à 800 microns. L'encapsulation de la diode est réalisée au moyen des deux tranches superposées de diélectrique, repérées respectivement en 12 et 18. La tranche de diélectrique 12 a une épaisseur e_1 de l'ordre de 20 mi-
30 crons, tandis que la tranche 18 disposée en-dessous de la tranche 12 en prenant appui sur le fond du berceau a une épaisseur e_2 de l'ordre de 100 microns, de sorte que l'épaisseur totale de diélectrique est de l'ordre de 120 microns. Ainsi, l'accessibilité aux dimensions de la diode encapsulée et en particulier à la métallisation circulaire 24

définie par ses diamètres intérieur et extérieur et au diélectrique (12 et 18) servant d'encapsulation défini par son épaisseur totale, permet d'assurer une bonne transformation radiale d'impédance dans le cas de modules pour ondes millimétriques.

5 On va maintenant décrire une variante du procédé de fabrication selon l'invention en se référant aux figures 10 à 14 qui font suite, pour reprendre l'ordre chronologique des étapes du procédé, aux figures 1a ou 1b (croissance par épitaxie), puis 2 (attaque méso), et 3 (dépôt d'une pellicule d'arrêt et remplissage d'un premier
10 diélectrique).

Une fois chaque berceau rempli d'un matériau diélectrique 12, tel que par exemple du verre fondu ou du polyimide (figure 3), l'étape suivante du procédé, représentée sur la figure 10, consiste à déposer le second diélectrique 18, tel que par exemple du polyimide
15 chargé par exemple de poudre de quartz, cette fois sur la face supérieure du diélectrique 12 et non plus sur sa face inférieure comme précédemment, et ceci d'une façon tout à fait identique à celle décrite en référence à la figure 6. On obtient ainsi des cuvettes centrales 20 ayant chacune pour fond la face supérieure de la pastille 5 et dont le rebord et les parois latérales sont délimités
20 par le diélectrique 18.

L'étape suivante, représentée sur la figure 11, consiste à métalliser l'une des faces d'accès de chaque jonction, c'est-à-dire la face avant définie comme étant la face supérieure de la pastille 5,
25 afin de réaliser la première connexion pour chaque future diode. On procède d'une façon identique à celle décrite en référence à la figure 4, c'est-à-dire en déposant d'abord une couche 14 de platine, puis en formant du siliciure de platine, et en déposant successivement des couches de titane, de platine et d'or, ainsi qu'une couche
30 d'or galvanique destinée à constituer le dissipateur thermique. Cet ensemble de dépôts, repéré globalement par la couche continue 26, est réalisé de telle sorte que ce contact remplisse chaque cuvette centrale et recouvre le diélectrique 18 sur une hauteur donnée.

L'étape suivante, représentée sur la figure 12, consiste à attaquer la face arrière du substrat 1 de façon à le laisser subsister sur une épaisseur minimale E_1 en vue de réduire sa résistance parasite. Cette attaque du substrat est réalisée d'une façon identique à celle décrite en référence à la figure 5.

L'étape suivante, représentée sur la figure 13, consiste à métalliser l'autre face d'accès de chaque jonction, c'est-à-dire la face arrière définie comme étant la face inférieure de la pastille semiconductrice, afin de réaliser la seconde connexion pour chaque future diode. Cette seconde métallisation repérée en 28 sur la figure 13 est réalisée d'une manière identique à celle de la métallisation repérée en 24 sur la figure 7, c'est-à-dire en déposant tout d'abord une couche 22 de platine, puis en formant du siliciure de platine, et en déposant successivement des couches de titane, de platine et d'or éventuellement enrichi d'or galvanique. Cette seconde métallisation continue 28 recouvre donc le fond de chaque berceau rempli de diélectrique ainsi que la face arrière de chaque jonction.

L'étape suivante, représentée sur la figure 14, consiste tout d'abord à localiser par un photomasquage la métallisation 28 pour chaque future diode suivant un disque concentrique avec la pastille de la diode correspondante, de sorte que cette métallisation 28 est circulaire et présente un diamètre pouvant être contrôlé. Puis, on effectue la séparation des différentes diodes par une découpe effectuée d'une manière identique à celle décrite en référence à la figure 8.

La figure 15 représente l'une des diodes à avalanche obtenues par cette variante du procédé décrit ci-dessus. Cette diode également avec une encapsulation incorporée, donc sans boîtier, est incluse dans un support ayant une première face métallisée 26 servant de dissipateur thermique et une seconde face métallisée circulaire 28 de diamètre extérieur Φ_e de l'ordre de 700 à 800 microns. L'encapsulation de la diode est réalisée au moyen des deux tranches superposées de diélectrique 12 et 18, la tranche 12 ayant

une épaisseur e_1 de l'ordre de 20 microns, et la tranche 18 disposée sur la tranche 12 ayant une épaisseur e_2 de l'ordre de 100 microns, de sorte que l'épaisseur totale de diélectrique est de l'ordre de 120 microns. De plus, dans le cas où la tranche de diélectrique 18 se
5 présente sensiblement sous la forme d'un anneau, son diamètre intérieur ϕ_1 est de l'ordre de 200 à 300 microns. Ainsi, l'accessibilité aux dimensions de la diode encapsulée et en particulier à la métallisation circulaire 28 définie par son diamètre, à la métallisation 26 définie par le diamètre intérieur de l'anneau de diélec-
10 trique 18, et au diélectrique (12 et 18) servant d'encapsulation défini par son épaisseur totale, permet d'assurer une bonne transformation radiale d'impédance dans le cas de modules pour ondes millimétriques.

On notera que le procédé selon l'invention a été décrit ci-
15 dessus pour des diodes à avalanche au silicium. Bien sûr, l'invention s'applique également aux diodes réalisées à partir d'arséniure de gallium, notamment aux diodes à effet Gunn, aux diodes mélangées, aux diodes PIN, et aux diodes varicap. Il faut dans ce cas employer le procédé selon l'invention en rapport avec la technologie
20 appropriée à l'arséniure de gallium.

Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés et comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci sont effectuées suivant l'esprit de l'invention et mises en oeuvre
25 dans le cadre des revendications qui suivent.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication collective de diodes hyperfréquences avec encapsulation incorporée, chaque diode comportant une pastille semiconductrice multicouche (5) disposée entre deux connexions, le procédé comportant les étapes suivantes :
- 5 - une croissance par épitaxie à partir d'un substrat semi-conducteur (1) d'un ensemble de couches destinées à fournir la structure de la pastille de chaque diode ;
 - une attaque de l'ensemble des couches de façon à former des berceaux (8) délimitant les pastilles, chaque berceau étant de
10 profondeur supérieure à celle de l'ensemble des couches ;
 - un remplissage de chaque berceau par un premier matériau diélectrique (12) ; caractérisé en ce que le procédé comprend en outre les étapes suivantes ;
 - un premier recouvrement métallique de la face supérieure de
15 la structure complexe obtenue à l'étape précédente, formant ainsi l'une des connexions pour chaque diode ;
 - une attaque du substrat (1) par sa face opposée à l'ensemble des couches de façon à le laisser subsister sur une épaisseur (E_1) telle que le fond de chaque berceau se trouve dégagé ;
 - 20 - un dépôt d'un second matériau diélectrique (18) localisé sur le fond une fois dégagé de chaque berceau de façon à former des cuvettes centrales (20) ayant chacune pour fond le substrat subsistant de chaque diode et dont le rebord et les parois latérales sont délimités par le second diélectrique (18) ;
 - 25 - un second recouvrement métallique de la face inférieure de la structure complexe obtenue à l'étape précédente, formant ainsi l'autre connexion pour chaque diode ; et
 - une séparation des diodes par découpe effectuée au milieu de chaque berceau rempli, permettant ainsi d'obtenir collectivement
30 les diodes avec encapsulation incorporée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le second recouvrement métallique (24) est réalisé de telle sorte qu'il épouse le contour de chaque cuvette centrale (20) et recouvre le second diélectrique (18), et en ce qu'avant la séparation des diodes, le procédé comporte une localisation du second recouvrement métallique pour chaque diode suivant un disque concentrique avec la pastille (5) de la diode correspondante.

3. Procédé de fabrication collective de diodes hyperfréquences avec encapsulation incorporée, chaque diode comportant une pastille semiconductrice multicouche (5) disposée entre deux connexions, le procédé comportant les étapes suivantes :

- une croissance par épitaxie à partir d'un substrat semi-conducteur (1) d'un ensemble de couches destinées à fournir la structure de la pastille de chaque diode ;
- une attaque de l'ensemble des couches de façon à former des berceaux (8) délimitant les pastilles, chaque berceau étant de profondeur supérieure à celle de l'ensemble des couches ;
- un remplissage de chaque berceau par un premier matériau diélectrique (12) ; caractérisé en ce que le procédé comprend en outre les étapes suivantes :
 - un dépôt d'un second matériau diélectrique (18) localisé sur le premier diélectrique de façon à former des cuvettes centrales (20) ayant chacune pour fond la pastille de chaque diode et dont le rebord et les parois latérales sont délimités par le second diélectrique (18) ;
 - un premier recouvrement métallique de la face supérieure de la structure complexe obtenue à l'étape précédente, formant ainsi l'une des connexions pour chaque diode ;
 - un second recouvrement métallique de la face inférieure de ladite structure complexe, formant ainsi l'autre connexion pour chaque diode ; et
 - une séparation des diodes par découpe effectuée au milieu de

chaque berceau rempli, permettant ainsi d'obtenir collectivement les diodes avec encapsulation incorporée.

5 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'avant le second recouvrement métallique, le procédé comporte une attaque du substrat (1) par sa face opposée à l'ensemble des couches de façon à le laisser subsister sur une épaisseur (E_1) telle que le fond de chaque berceau se trouve dégagé, le second recouvrement métallique étant réalisé sur la face inférieure de la structure complexe obtenue une fois le substrat attaqué.

10 5. Procédé selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que le premier recouvrement métallique (26) est réalisé de telle sorte qu'il remplisse chaque cuvette centrale et recouvre le second diélectrique.

15 6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce qu'avant la séparation des diodes, le procédé comporte une localisation du second recouvrement métallique (28) pour chaque diode suivant un disque concentrique avec la pastille (5) de la diode correspondante.

20 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'avant le remplissage de chaque berceau par le premier matériau diélectrique (12), le procédé comporte un recouvrement des parois de chaque berceau d'une couche d'arrêt (10).

25 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le remplissage de chaque berceau par le premier matériau diélectrique (12) est dosé de telle sorte que le diélectrique présente une surface plane.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le remplissage de chaque berceau par le premier

matériau diélectrique (12) est réalisé par dépôt de polyimide ou de verre à l'état fondu.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le second matériau diélectrique (18) comporte du polyimide.

11. Procédé selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que le polyimide est chargé de poudre de quartz ou d'une substance à très faible perte à constante diélectrique plus élevée.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dépôt du second matériau diélectrique (18) est réalisé par un photomasquage suivi d'une attaque chimique localisée.

13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'épaisseur du premier matériau diélectrique (12) est de l'ordre de 20 microns, et en ce que l'épaisseur du second matériau diélectrique (18) est de l'ordre de 100 microns.

14. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 4, caractérisé en ce que l'attaque du substrat (1) est une attaque chimique ou une attaque plasma.

15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le substrat (1) semiconducteur possède une basse résistivité pour ne pas introduire de pertes aux fréquences d'utilisation des diodes hyperfréquences.

16. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'avant chacun des premier (16 ; 26) et second (24 ; 28) recouvrements métalliques, le procédé comporte un dépôt de platine localisé au niveau de la pastille de chaque diode, suivi d'un recuit

formant du siliciure de platine destiné à constituer un contact ohmique.

17. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chacun des premier (16 ; 26) et second (24 ; 28) recouvrements métalliques consiste en des dépôts successifs de titane, de platine et d'or.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce qu'après les dépôts successifs de titane, de platine et d'or formant le premier recouvrement métallique (16 ; 26), le procédé comporte de plus un dépôt d'or galvanique destiné à constituer un dissipateur thermique.

19. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la séparation des diodes par découpe est réalisée à l'aide d'une scie diamantée.

20. Diode hyperfréquence avec encapsulation incorporée, constituée par une pastille semiconductrice (5) montée dans un support ayant une première et une seconde faces métallisées respectivement en contact avec la face supérieure et la face inférieure de la pastille, le support comprenant un anneau de diélectrique entourant la pastille, caractérisée en ce que l'anneau de diélectrique est réalisé en une première (12) et une seconde (18) tranches superposées de matériau diélectrique.

21. Diode selon la revendication 20, caractérisée en ce que la première tranche (12) de matériau diélectrique est disposée dans un berceau formé autour de la pastille, la profondeur du berceau étant au moins égale à l'épaisseur de la pastille et étant comblée par la première tranche, la première face métallisée (16) du support recouvrant la face supérieure de la première tranche et la face supérieure de la pastille, et en ce que la seconde tranche (18) de

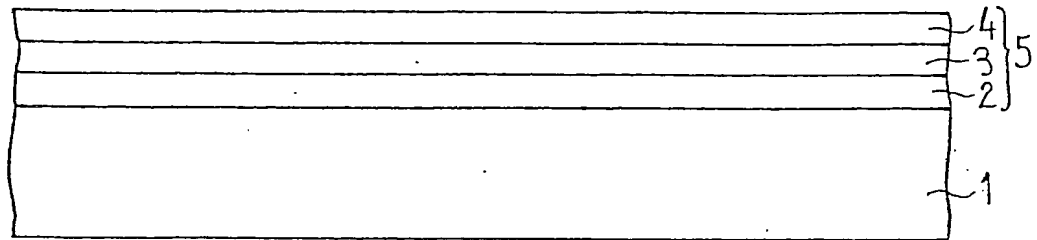
matériau diélectrique est disposée en-dessous de la première tranche en prenant appui sur le fond du berceau de façon à former une cuvette centrale dont le fond est constitué par la face inférieure de la pastille et dont le rebord et les parois latérales sont délimités par la seconde tranche, la seconde face métallisée (24) du support épousant le contour de la cuvette et recouvrant au moins partiellement la face inférieure de la seconde tranche (18).

22. Diode selon la revendication 20, caractérisée en ce que la première tranche (12) de matériau diélectrique est disposée dans un berceau formé autour de la pastille, la profondeur du berceau étant au moins égale à l'épaisseur de la pastille et étant comblée par la première tranche, et en ce que la seconde tranche (18) de matériau diélectrique est disposée sur la face supérieure de la première tranche de façon à former une cuvette centrale dont le fond est constitué par la face supérieure de la pastille et dont le rebord et les parois latérales sont délimités par la seconde tranche, la première face métallisée (26) du support remplissant la cuvette et recouvrant la face supérieure de la seconde tranche, et la seconde face métallisée (28) du support recouvrant la face inférieure de la pastille et au moins partiellement la face inférieure de la première tranche (12) au niveau du fond du berceau.

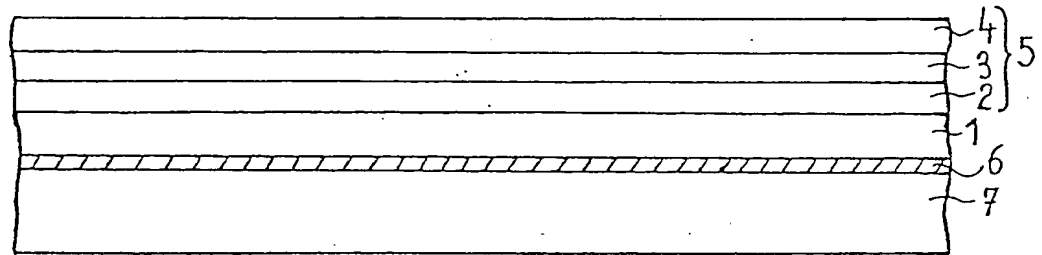
23. Diode selon l'une des revendications 21 ou 22, caractérisée en ce que la seconde face métallisée (24 ; 28) du support est circulaire et concentrique avec la pastille.

24. Diode selon l'une des revendications 20 à 23, caractérisée en ce que le matériau diélectrique de la première tranche (12) est du verre ou du polyimide, et en ce que le matériau diélectrique de la seconde tranche (18) est du polyimide.

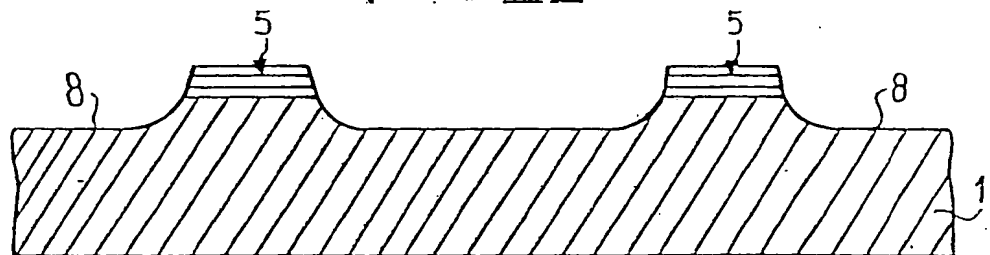
1/5
FIG_1-a



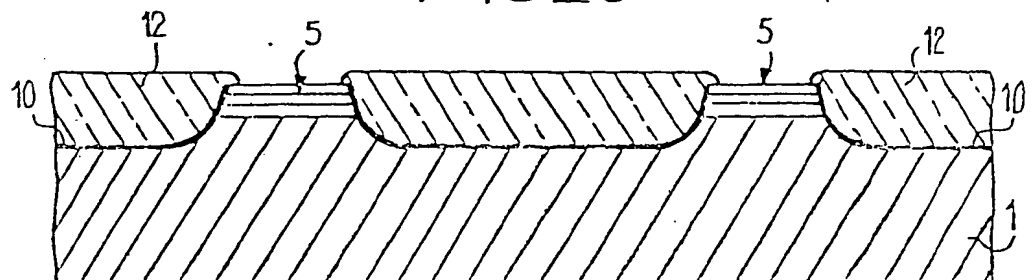
FIG_1-b



FIG_2

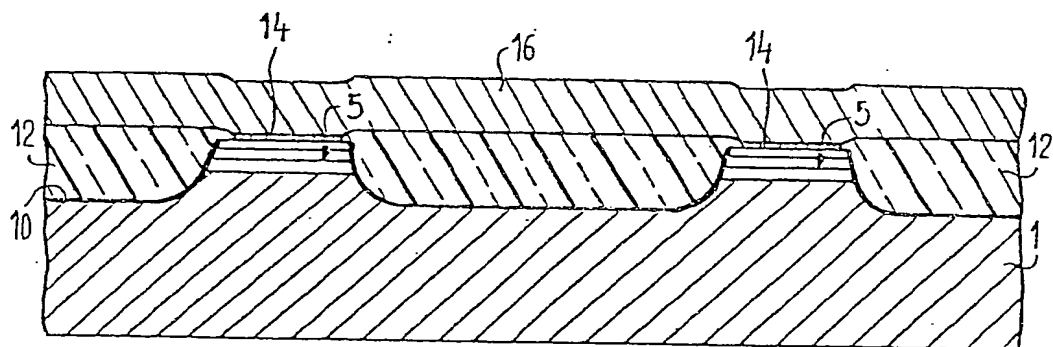


FIG_3

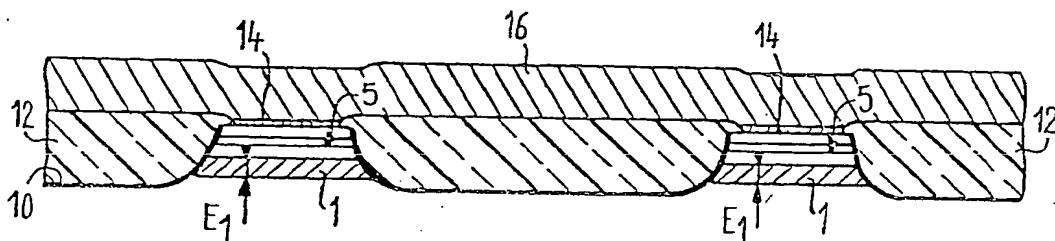


2/5

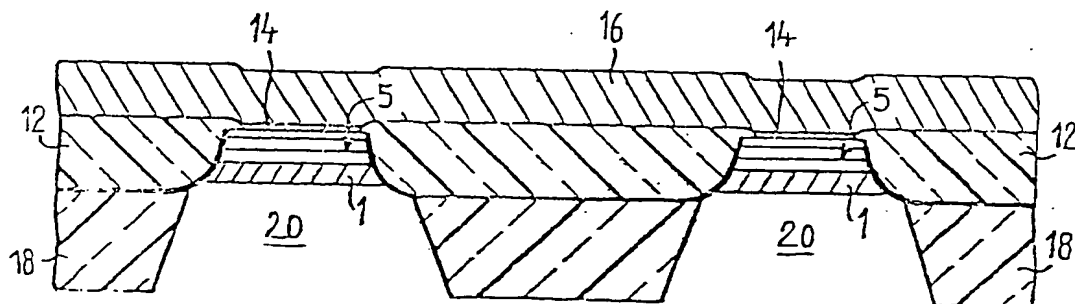
FIG_4



FIG_5

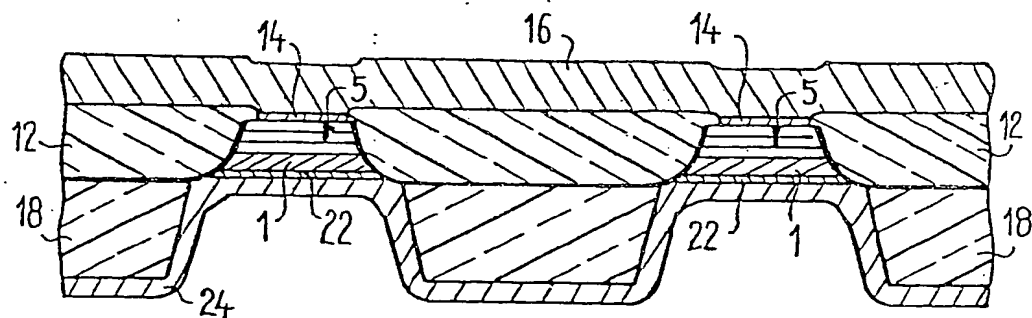


FIG_6

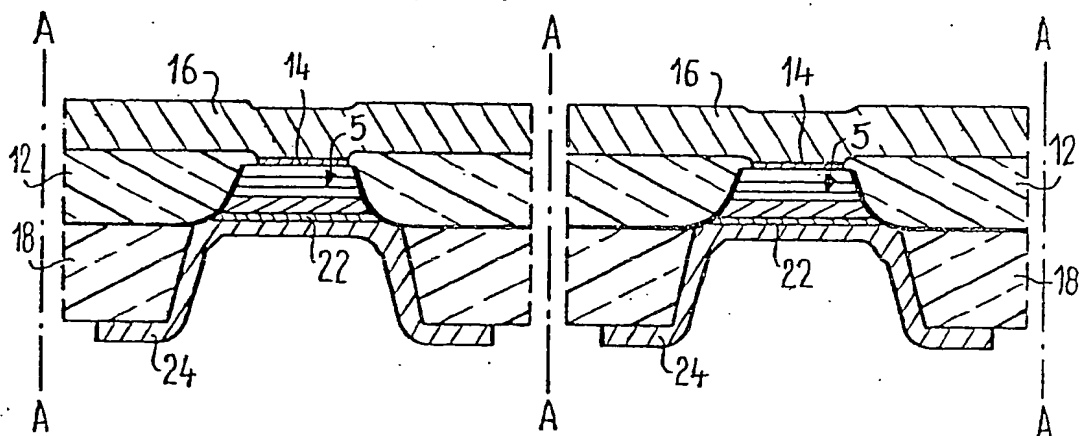


3/5

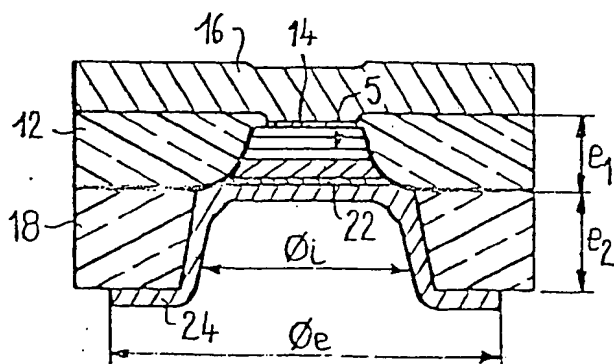
FIG_7



FIG_8

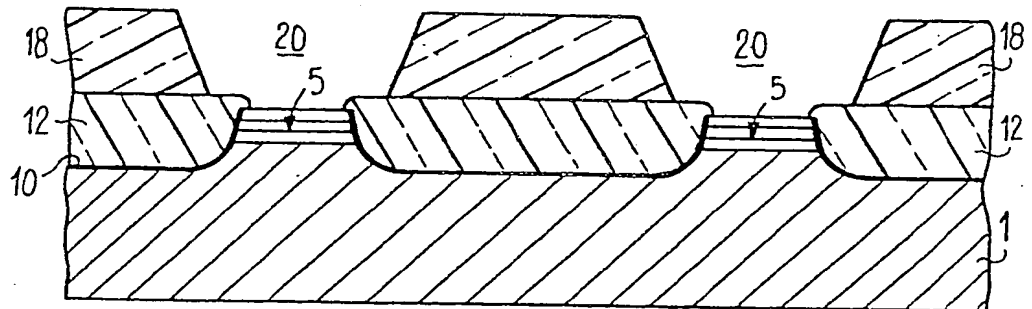


FIG_9

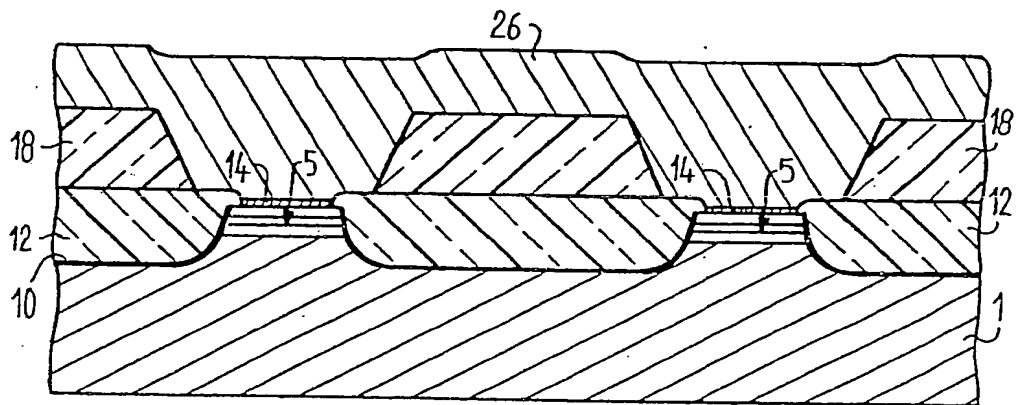


4/5

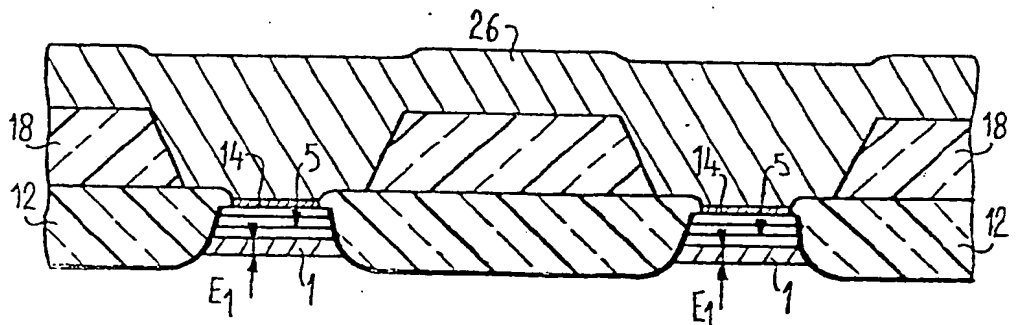
FIG_10



FIG_11

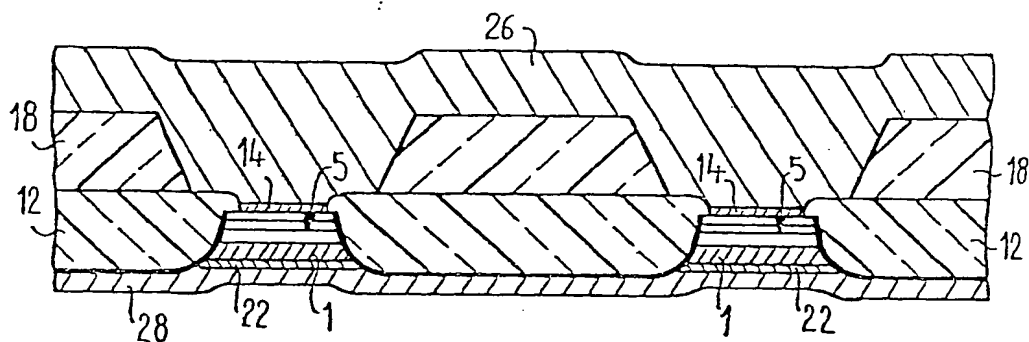


FIG_12

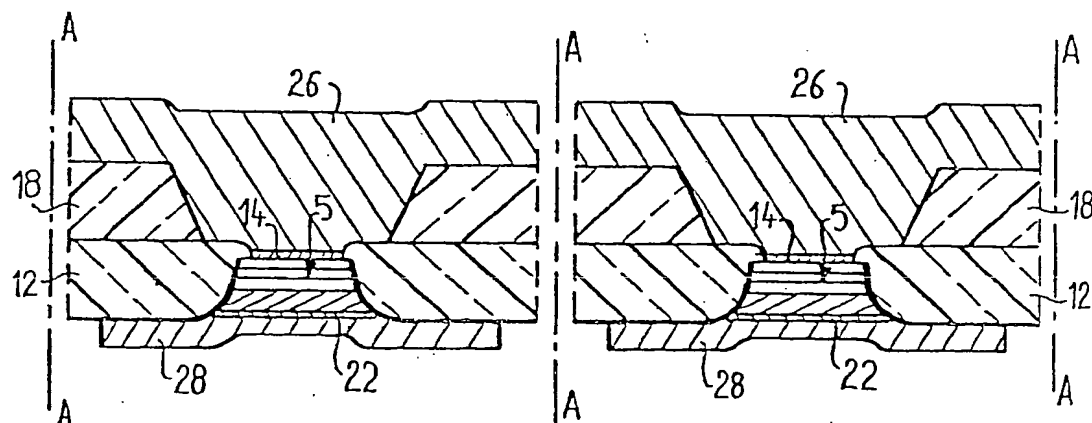


5/5

FIG_13



FIG_14



FIG_15

